

51

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Int. Cl.:

F 16 h, 55/08

B 23 f, 1/02

DEUTSCHES



PATENTAMT

52

Deutsche Kl.:

47 h, 55/08

49 d, 1/02

10

11

21

22

43

# Offenlegungsschrift 1 775 616

Aktenzeichen: P 17 75 616.0-12

Anmeldetag: 2. September 1968

Offenlegungstag: 1. März 1973

Ausstellungspriorität: —

30

Unionspriorität

32

Datum: —

33

Land: —

31

Aktenzeichen: —

54

Bezeichnung: Getriebe mit nichtkonjugierter Schrägverzahnung

61

Zusatz zu: —

62

Ausscheidung aus: —

71

Anmelder: Secretary of State for Defence of the United Kingdom  
of Great Britain and Northern Ireland, London

Vertreter gem. § 16 PatG: Negendank, H., Dr.-Ing.; Hauck, H. W., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
Schmitz, W., Dipl.-Phys.; Graalfs, E., Dipl.-Ing.;  
Wehnert, W., Dipl.-Ing.; Patentanwälte, 2000 Hamburg  
und 8000 München

72

Als Erfinder benannt: Studer, Robert Martin, Filton, Bristol (Großbritannien)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): 22. 1. 1970

ZUSTELLUNGSANSCHRIFT: HAMBURG 36 · NEUER WALL 41

TEL. 36 74 28 UND 36 41 15  
TELEGR. NEGEPATENT HAMBURG  
MÜNCHEN 15 · MOZARTSTR. 23  
TEL. 53 80 5 86  
TELEGR. NEGEPATENT MÜNCHEN

ROLLS-ROYCE LIMITED

Moor Lane, Derby, England

HAMBURG, 30. August 1968

Getriebe mit nichtkonjugierter Schrägverzahnung

Die Erfindung bezieht sich auf Getriebe mit nichtkonjugierter Schrägverzahnung der Art, die als Novikov- oder Wildhaber-Verzahnung bekannt ist.

Obwohl die Grundformen dieser Verzahnung seit der Veröffentlichung der US Patentschrift von Wildhaber No. 1 611 750 im Jahre 1926 bekannt sind, scheint es doch, dass bis heute sachlich nur wenig Gebrauch von dieser Getriebeform gemacht worden ist. Dieses mag wohl auf gewisse Mängel zurückzuführen sein, die im folgenden diskutiert werden.

Bei den nichtkonjugierten Verzahnungen des Novikov-Typs sind die Zahnflanken mit einem Kreisbogenprofil versehen, und jeweils zwei zusammenwirkende Zahnflanken sind konkav bzw. konvex. Bei der Novikov-Verzahnung haben die Flanken eine hohe Oberflächenfestigkeit, und ein Zahnbruch tritt mit grösserer Wahrscheinlich-

- 2 -

keit in Form eines Biegebruches als in Form von Oberflächenzerstörung auf.

Dies trifft insbesondere auf gehärtete Zahnräder zu. Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine nichtkonjugierte Verzahnung von verbesserter Biegefestigkeit zu schaffen, so dass sich die Biegefestigkeit der Zähne in stärkerem Masse ihrer Oberflächenfestigkeit anpasst.

Nichtkonjugierte Zahnformen können in Form von Einfachflanken und Doppelflanken ausgeführt werden. Bei der Einfachflankenform sind die Zähne des einen Zahnrades eines Paares ausserhalb des Teilkreises des Zahnrades angeordnet und haben auf jeder Seite eine konvexe Flanke. Die Zähne des anderen Zahnrades liegen innerhalb des Teilkreises desselben und weisen auf jeder Seite eine konkave Flanke auf. Bei dieser Form ist zur Übertragung des Drehmomentes meistens nur ein Zähnpaar in Eingriff, was eine besondere Schwächequelle im Hinblick auf die Biegung darstellt.

Es ist bereits in Vorschlag gebracht worden, die Biege-

- 3 -

309809/0297

- 3 -

festigkeit der Zähne durch Anwendung der Doppelflankenform zu verbessern. Bei dieser Form weisen beide Zahnräder eines Paares Zähne mit zwei Flanken auf jeder Seite ihres Profils auf. Die eine Flanke ist konvex und erstreckt sich ausserhalb des Teilkreises, während die andere Flanke konkav ist und sich innerhalb des Teilkreises erstreckt. Man kann daher sagen, dass der Doppelflanken Zahn sowohl einen Zahnkopf als auch einen Zahnfuß hat. Es ist ein bezeichnendes Merkmal einer Doppelflankenverzahnung, dass während des Betriebes jeweils wenigstens zwei Zähnepaare zur Übertragung des Drehmomentes miteinander in Eingriff sind. Mit anderen Worten, die Last wird auf zwei Zähne verteilt, und die Biegefestigkeit ist daher höher. Obwohl jedoch die Last zwischen zwei Zähnen verteilt wird, wird die Biegefestigkeit nicht verdoppelt, da das Doppelflankenprofil relativ lang und schlank und seine Überhangfestigkeit (cantilever strength) entsprechend vermindert ist. Die Erfindung erstrebt daher insbesondere die Schaffung einer nichtkonjugierten Doppelflankenverzahnung von verbesserter Biegefestigkeit.

Es ist bekannt, dass bei der Novikov-Verzahnung bei genauer Übereinstimmung der zusammengehörigen konkaven und konvexen Flanken die Zahnräder gegenüber Abweichungen in ihrem Mittenabstand besonders empfindlich sind.

- 4 -

309809/0297

- 4 -

Es ist daher vorgeschlagen worden, den Krümmungsradius der konvexen Flanken relativ zu dem entsprechenden Radius der konkaven Flanken zu vermindern. Dieses gibt den Zahnradern ein gewisses Mass an Toleranz gegenüber Abweichungen im Mittenabstand, jedoch auf Kosten einer entsprechenden Schwächung der Oberflächenfestigkeit. Bei einem Einflankenzahn kann auf diese Weise nur ein geringes Mass an Toleranz für den Mittenabstand erreicht werden, da die Tatsache, dass im allgemeinen die gesamte Last von einem einzigen Zahnpaar getragen wird, bedeutet, dass die Oberflächenbelastung bald einen Wert erreicht, bei welchem die Benutzung von nichtkonjugierten Verzahnungen gegenüber den gebräuchlicheren Verzahnungen, d.h. den Evolventenverzahnungen, kaum noch einen Vorteil erbringt. In der Doppelflankenzahnform wird die Last zwischen zwei Zahnpaaren verteilt; die Oberflächenbelastung ist entsprechend geringer, und es können bei gleicher Oberflächenbelastung die Ungleichförmigkeit zwischen den zusammengehörigen Flanken, und somit die Toleranz mit Bezug auf Abweichungen im Mittenabstand, sehr viel höher gewählt werden. Ein weiteres Merkmal der Erfindung besteht in der Beibehaltung dieses Vorteils des Doppelflankensystems bei gleichzeitiger Verbesserung der Zahnbiegefestigkeit.

- 5 -

309809/0297

- 5 -

Die Erfindung richtet sich auch auf die Schaffung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zur Erzeugung der verbesserten Verzahnung.

Gemäss der Erfindung ist ein Zahnrad nach Novikov, dessen Zahnprofil eine Zahnhöhe mit konvexen Flanken und einen Zahnfuss mit konkaven Flanken aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite des Zahnkopfes an dem Teilkreis geringer und die Breite des Zahnfusses grösser als ein Mittelwert sind.

Ein Zahnprofil, das erfindungsgemäss ausgebildet ist, entspricht in grösserem Masse dem Profil eines gleichmässig beanspruchten Freitragers als das bekannte Profil und ist demzufolge stärker im Hinblick auf die Biegung.

Im folgenden wird ein Verzahnungsbeispiel mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine abgewinkelte Darstellung eines Zahnradteils,

Fig. 2 einen Schnitt nach der Linie II-II der Fig. 1, wobei das Zahnrad mit einem weiteren Zahnrad kämmt,

- 6 -

- 6 -

- Fig. 3 eine vergrösserte Darstellung eines einzelnen Zahnes eines der in Fig. 2 gezeigten Zahnräder,
- Fig. 4 eine Darstellung eines einzelnen Zahnes eines der in Fig. 2 gezeigten Zähne bei weiterer Darstellung eines Schleifrades zum Schleifen des Profiles des Zahnes im Schnitt,
- Fig. 5 eine Draufsicht auf die Vorrichtung zum Abziehen des in Fig. 4 gezeigten Schleifrades,
- Fig. 6 einen Aufriss der Fig. 5, und
- Fig. 7 eine Darstellung in Richtung des Pfeiles VII der Fig. 6, teilweise im Schnitt, wobei nur ein ausgewählter Teil gezeigt ist.

Aus den Fig. 1 - 3 ist ersichtlich, dass die Zähne der Verzahnung je ein Profil 20 aufweisen, das durch konvexe Seiten 21 eines Zahnkopfes 22 und konkave Seiten 23 eines Zahnfusses 24 begrenzt wird. Die zwei Zahnräder (Fig. 2) sind mit 25 bzw. 26 und ihre Teilkreise mit 27 bzw. 28 bezeichnet.

- 7 -

309809/0297

- 7 -

Fig. 3 zeigt, dass die Teilungslinie zwischen dem Zahnkopf 22 und dem Zahnfuss 24 der Teilkreis 28 ist. Der Zahnkopf ist so bemessen, dass seine Breite X an dem Teilkreis geringer ist als die Teilkreisbreite Z eines mittleren Profiles 10. Der Zahnfuss ist so bemessen, dass seine Breite Y am Teilkreis grösser ist als die Breite Z. Das Profil 10 wird durch die Kreisteilung der Zähne bestimmt und ist in Wirklichkeit das Profil der bekannten Doppelflanken Zahnform.

Die Flanken 12 des mittleren Profiles 10 sind Bögen mit einem Radius  $R_a$ , deren Mittelpunkt auf dem Teilkreis liegt. Die Flanken 22 des Profiles 20 sind Bögen mit demselben Radius  $R_a$ , deren Mittelpunkt ebenfalls auf dem Teilkreis liegt. Dasselbe gilt ebenso für die Radien  $R_d$  mit Bezug auf die Flanken 14, 24.

Wie oben beschrieben, ist der Radius  $R_a$  etwas kleiner als der Radius  $R_d$ .

Das Verhältnis zwischen den Breiten X und Y ist so gewählt, dass die höchste Biegefestigkeit im wesentlichen gleich der höchsten Biegefestigkeit in dem Zahnfuss ist. Es ist klar, dass ein nach dem Mittelprofil 10 hergestellter Zahn eine

- 8 -



- 8 -

Biegefestigkeit haben muss, die an einem Punkte, der reichlich innerhalb des Teilkreises liegt, auf einen Höchstwert ansteigt. Der nach dem Profil 20 hergestellte Zahn zeigt eine Biegefestigkeit, die über die Höhe des Zahnes in grösserem Masse nahezu gleichmässig und deren Höchstwert (für dieselbe Belastung) geringer ist als derjenige in dem Profil 10. Photo-elastische Prüfungen haben gezeigt, dass allgemein optimale Bedingungen erreicht werden, wenn das Verhältnis von X : Y annähernd 1 : 1,3 ist.

Um die Auswirkungen einer Beanspruchungskonzentration an der Verbindung der Flanken 22, 24 herabzusetzen, ist zwischen diesen Flanken eine Auskehlungskurve 29 gebildet.

Aus Versuchsergebnissen kann geschlossen werden, dass der verbesserte Zahn eine grössere Belastbarkeit besitzt als die bekannte Doppelflankenverzahnung nach Novikov und auch als die vergleichbare Evolventenverzahnung. Bezogen auf die Einfachflankenverzahnung nach Novikov, beträgt die Verbesserung in der Belastbarkeit 100 %, während mit Bezug auf die Evolventenverzahnung die Verbesserung sowohl mit Bezug auf die Oberflächenfestigkeit als auch die Biegefestigkeit bis zu 30 % betragen kann.

- 9 -

- 9 -

Somit ist bei gleicher Belastung eine entsprechende Verminderung in der Grösse der Zahnräder gegeben, so dass die verbesserte Verzahnung Zahnräder aufweist, deren Durchmesser 50 % der nichtkonjugierten Einfachflankenverzahnung und möglicherweise 75 % des Durchmessers der Evolventenverzahnung betragen kann.

Die relativ kleinen Zahnradgrössen, die durch die verbesserte Form nahegelegt werden, sind praktisch erzielbar, da ein allgemeines Merkmal der nichtkonjugierten Verzahnung darin besteht, dass die kleinstmögliche Zähnezahl wesentlich geringer ist als im Falle der Evolventenverzahnung.

Fig. 4 zeigt, dass die benachbarten Flanken des verbesserten Zahnprofils durch ein in geeigneter Weise geformtes Schleifrad 40 in einem einzigen Arbeitsgang geschliffen werden können, um die Kreisbögen in Ebenen normal zu dem Schräg Zahn zu erzeugen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass die Sehnenteilungsstrecke 41 für die Mittelpunkte der Radien  $R_a$  und  $R_d$  für alle Zähne der beiden kämmenden Zahnräder die gleichen sind. Dieses kann sichergestellt werden durch Verwendung desselben Schleifrades für beide Zahnräder und demzufolge Erzeugung zueinander passender Zahnräder. Auch für die beiden Seiten jedes Zahnes wird

- 10 -

309809/0297

- 10 -

dasselbe Schleifrad benutzt.

Um sicherzustellen, dass das Schleifrad selbst genau abgezogen ist, und dass seine Form aufrechterhalten werden kann, kann man eine Radabziehvorrichtung entsprechend der Darstellung in den Fig. 5 - 7 verwenden.

Diese Vorrichtung hat zwei Abziehdiamanten 43, 45 für diejenigen Abschnitte 44, 46 des Schleifrades, die für die konvexen bzw. konkaven Flanken der Zahnform bestimmt sind.

Der Diamant 43 ist an einem Drehzapfen 47 befestigt, der in Lagern 48, 49 (Fig. 6) in einem Rahmen 50 gelagert ist, um von einem Schneckenrad 51 gedreht zu werden, das mit einer Schnecke kämmt, die von einem Handrad (nicht gezeigt) gedreht werden kann.

Es ist klar, dass der Umlauf des Diamanten 43 um die Achse des Stiftes 47 die Erzeugung des bogenförmigen Abschnittes 44 auf dem Profil des Schleifrades bewirkt.

Der Diamant 45 ist an einem Arm 53 befestigt, der mittels eines Drehzapfens 54 in einem Lager 55 in dem Rahmen gelagert ist. Der Mittenabstand zwischen den Drehzapfen 47, 54 ist gleich dem Mittenabstand 41 der Radien  $R_a$  und  $R_d$  gewählt (Fig. 4). Der Arm 53 ist durch Zahnradsegmente

- 11 -

309809/0297

- 11 -

56, 57 mit dem Zapfen 47 verbunden, so dass der Diamant 45 entlang dem Abschnitt 46 des Schleifradprofils bewegt wird, während der Diamant 43 entlang dem Abschnitt 44 bewegt wird. Anstelle der Verbindung durch Zahnräder in dieser Weise können die Zapfen 47, 54 so gelagert werden, dass sie unabhängig voneinander sind, wobei der Stift 47 auf einem nicht gezeigten Schlitten gelagert und sein Mittenabstand von dem Zapfen 54 einstellbar ist. Der Rahmen 50 wird mittels Gleitbahnen 59 auf einem Ständer 58 gelagert, so dass die Diamanten 43, 45 zur Zusammenwirkung mit dem Rad 40 verschoben werden können.

Die Bedeutung der Abziehvorrichtung besteht darin, dass sie ein Abziehen der beiden Abschnitte 44, 46 des Rades ermöglicht, ohne den Mittenabstand 41 zu beeinträchtigen.

ZUSTELLUNGSANSCHRIFT: HAMBURG 86 · NEUER WALL 41

TEL. 867428 UND 864115

TELEGR. NEGEPATENT HAMBURG

MÜNCHEN 15 · MOZARTSTR. 28

TEL. 5880586

TELEGR. NEGEPATENT MÜNCHEN

ROLLS-ROYCE LIMITED

Moor Lane, Derby, England

HAMBURG, 30. August 1968

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Nichtkonjugiertes Zahnrad nach Novikov, bei welchem das Zahnprofil einen Zahnkopf mit konvexen Flanken und einen Zahnfuss mit konkaven Flanken aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite X des Zahnkopfes (22) an dem Teilkreis (27, 28) geringer und die benachbarte Breite Y des Zahnfusses (24) grösser ist als ein Mittelwert Z.
2. Zahnrad nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der benachbarten Breiten des Zahnkopfes und des Zahnfusses annähernd 1 : 1,3 ist.
3. Verfahren zur Herstellung eines Zahnrades nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die benachbarten Zahnkopf- und Zahnfuss-Flanken jedes Zahnes des Zahnrades mit einem Schleifrad (40) geschliffen werden, das so dimensioniert ist, dass es die benachbarten Flanken gleichzeitig formt.

4. Verfahren zur Herstellung von miteinander kämmenden Zahnradern, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Zahnrad unter Verwendung desselben Schleifrades für beide Zahnäder entsprechend Anspruch 3 hergestellt wird.
5. Vorrichtung zum Abziehen des Schleifrades zur Verwendung in dem Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch zwei Abziehwerkzeuge (43, 45) und getrennte Schwenkmittel (47, 54), die die Werkzeuge zur Ausführung einer bogenförmigen Bewegung entlang dem Profil eines Zahnkopfes bzw. eines benachbarten Zahnfusses eines Zahnes lagern.

14

Leerseite

FIG. 1

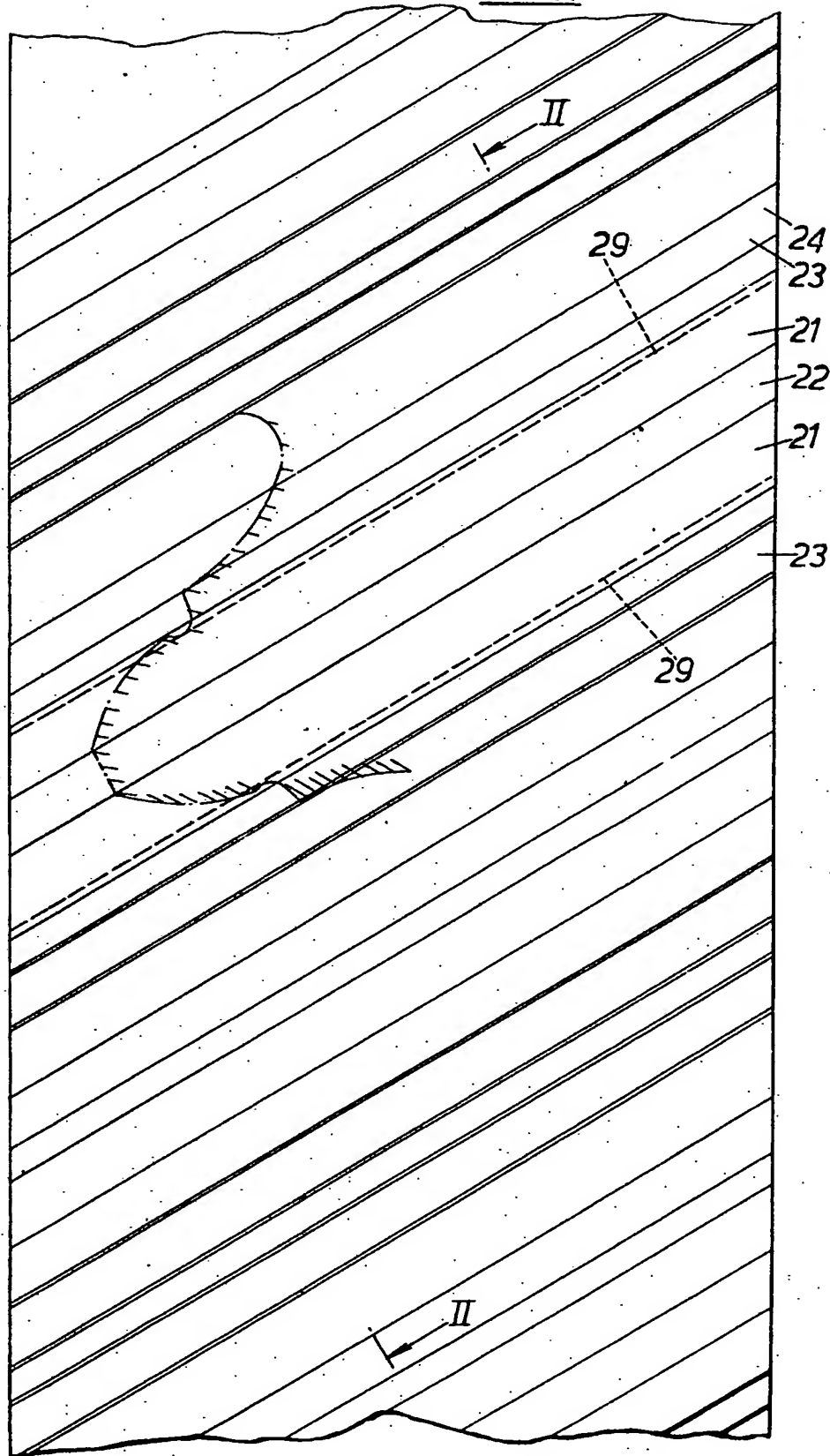
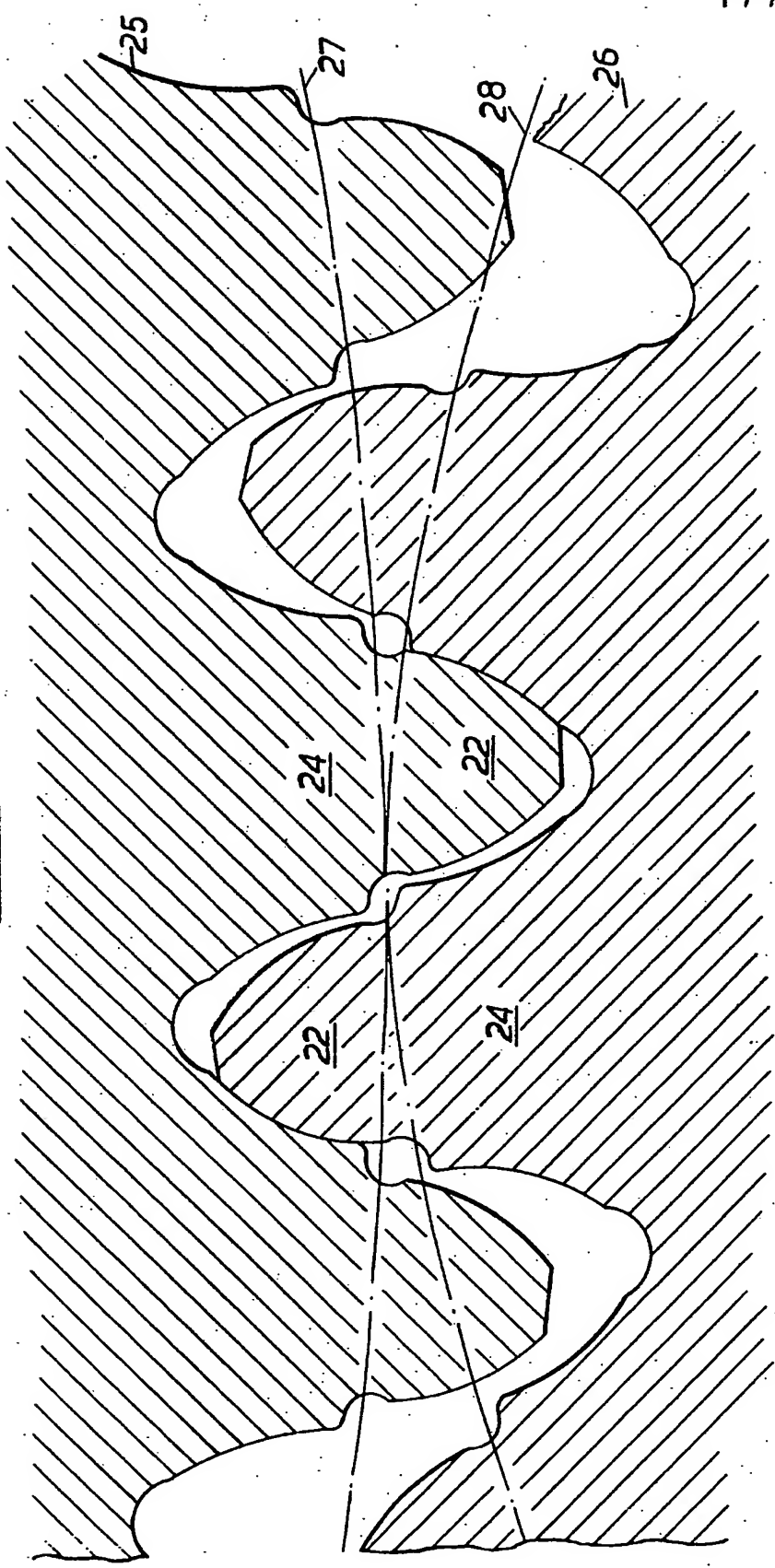




FIG 2



[illegible]

FIG.4.

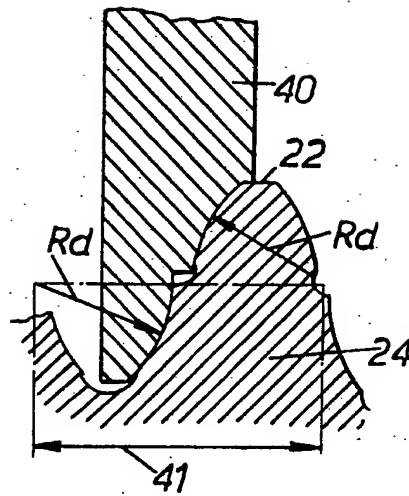


FIG.5.

